

(5)

19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 Off nl ungsschrift  
11 DE 3730971 A1

21 Aktenzeichen: P 37 30 971.4  
22 Anmeldetag: 15. 9. 87  
43 Offenlegungstag: 23. 3. 89

51 Int. Cl. 4:  
G 01 D 5/26  
G 02 B 6/42  
G 02 B 6/12

DE 3730971 A1

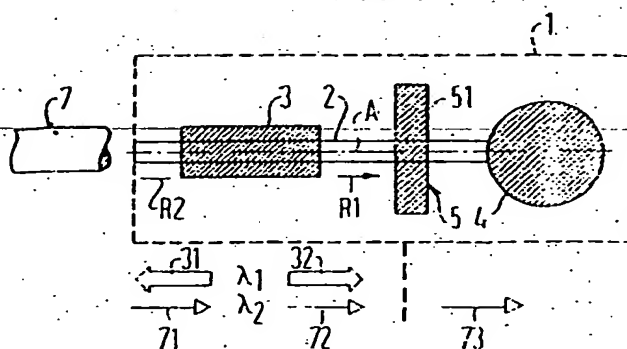
71 Anmelder:  
Siemens AG, 1000 Berlin und 8000 München, DE

72 Erfinder:  
Cremer, Cornelius, Dr., 8000 München, DE; Stoll,  
Lothar, Dipl.-Phys., 8025 Unterhaching, DE

54 Wellenlängen-Muldex-Anordnung

Es wird eine neuartige Wellenlängen-Muldex-Anordnung in integriertem Aufbau beschrieben, die im wesentlichen aus den integrierbaren Elementen optischer Sender (3), Sperrfilter (5) und Detektor (4) besteht, die nacheinander auf einem streifenförmigen Wellenleiter (2) auf einem Substrat (1) integriert sind. Das Sperrfilter (5) besteht aus einer absorbierenden Schicht (51), die den Detektor (4) gegen das vom Sender (3) abgestrahlte Licht abschirmt, das zu detektierende Licht mit einer von der Wellenlänge ( $\lambda_1$ ) des Lichts des Senders (3) verschiedenen Wellenlänge ( $\lambda_2$ ) dagegen weitgehend unbeeinflusst zum Detektor (4) durchläßt. In die absorbierende Schicht (51) kann eine Diode (6) integriert sein, die als Monitordiode für das vom Sender abgestrahlte Licht dienen kann.

FIG 1



DE 3730971 A1

## Patentansprüche

1. Wellenlängen-Muldex-Anordnung in integriertem Aufbau, wobei auf einem Substrat (1) ein streifenförmiger optischer Wellenleiter (2) zum Leiten von Licht in zueinander entgegengesetzten Richtungen ( $R1$ ,  $R2$ ), ein im Bereich des Wellenleiters (2) angeordneter und Licht mit einer Wellenlänge ( $\lambda_1$ ) und mit relativ starker Intensität in den entgegengesetzten Richtungen ( $R1$ ,  $R2$ ) aussendender optischer Sender (3), ein optischer Detektor (4), dem im Wellenleiter (2) geführtes Licht vom Sender (3) her zuleitbar ist, und ein zwischen dem Sender (3) und Detektor (4) auf oder in dem Wellenleiter (2) angeordnetes Sperrfilter (5) integriert sind, wobei das Sperrfilter (5) und der Sender (3) derart ausgebildet sind, daß das Sperrfilter (5) den Detektor (4) gegen das vom Sender (3) abgestrahlte Licht der einen Wellenlänge ( $\lambda_1$ ) abschirmt, daß dagegen im Wellenleiter (2) geführtes Licht mit einer anderen Wellenlänge ( $\lambda_2$ ) und mit relativ schwacher Intensität dem Detektor (4) durch den Sender (3) und das Sperrfilter (5) hindurch zugeleitet und detektierbar ist.
2. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der optische Sender (3) ein DFB-Laser mit einem Gitter bestimmter Ordnung  $m = 1, 2, 3, \dots$  ist, und daß die andere Wellenlänge ( $\lambda_2$ ) größer als das Produkt aus der bestimmten Ordnung  $m$  des Gitters und der einen Wellenlänge ( $\lambda_1$ ) ist.
3. Anordnung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Sperrfilter (5) aus einer Schicht (51, 52) aus absorbierendem Material besteht, welche das Licht der einen Wellenlänge ( $\lambda_1$ ) absorbiert, das Licht der anderen Wellenlänge ( $\lambda_2$ ) dagegen im wesentlichen unbeeinflusst läßt.
4. Anordnung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Schicht (51) aus absorbierendem Material im Lichtweg des im Wellenleiter (2) geführten Lichts angeordnet ist.
5. Anordnung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Schicht aus absorbierendem Material eine wellenleitende und über Leckwellen an den Wellenleiter (2) gekoppelte Schicht (52) ist, die zum optischen Detektor führt.
6. Anordnung nach einem der Ansprüche 3 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Schicht (51, 52) aus absorbierendem Material eine Schicht aus halbleitendem Material ist.
7. Anordnung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß das halbleitende Material ein quaternäres Material ist.
8. Anordnung nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß in die Schicht (51, 52) aus dem absorbierenden, halbleitenden Material eine Diode (6) integriert ist.

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Wellenlängen-Muldex-Anordnung in integriertem Aufbau, wobei unter Wellenlängen-Muldex-Anordnung eine Anordnung zu verstehen ist, die Licht einer Wellenlänge aussenden, eine andere Wellenlänge dagegen detektieren kann und die

zum Wellenlängenmultiplexen und -demultiplexen, insbesondere in der optischen Nachrichtentechnik geeignet ist.

Eine Wellenlängen-Muldex-Anordnung ist beispielsweise aus der veröffentlichten europäischen Patentanmeldung Nr. 02 26 868 bekannt. Bei dieser Anordnung sind auf einem Substrat ein streifenförmiger optischer Wellenleiter zum Leiten von Licht in zueinander entgegengesetzten Richtungen, ein Licht einer Wellenlänge und relativ starker Intensität in einer Richtung in den Wellenleiter aussendender optischer Sender und ein Filter in Form eines auf dem Wellenleiter angeordneten Gitters integriert. Das Gitter und die vom Sender ausgesandte Wellenlänge sind so bemessen, daß das im Wellenleiter in der einen Richtung geführte Licht dieser Wellenlänge vom Gitter unbeeinflusst bleibt, während eine im Wellenleiter in der entgegengesetzten Richtung zum Gitter und Sender geführte andere Wellenlänge aus dem Wellenleiter in das Substrat herausgebeugt wird. Im Strahlengang des von dem Gitter aus dem Wellenleiter herausgebeugten Lichts der anderen Wellenlänge ist ein optischer Detektor auf dem Substrat angeordnet, der dieses Licht detektiert.

Weitere Anordnungen mit einem Sperrfilter in Form eines Gitters sind aus den veröffentlichten europäischen Patentanmeldungen Nr. 01 87 198 und Nr. 01 87 979 sowie aus Appl. Phys. Lett. 45 (1984) S. 1278–1280 bekannt.

Aus der veröffentlichten PCT-Anmeldung Nr. 35 00 532 ist eine Wellenlängen-Muldex-Anordnung bekannt, bei der ein Filter in Form eines wellenlängenselektiven Richtkopplers mit Mäanderstruktur verwendet ist.

Durch die Erfindung ist eine neuartige Wellenlängen-Muldex-Anordnung bereitgestellt, deren Merkmale aus dem Patentanspruch 1 hervorgehen.

Die erfindungsgemäße Anordnung basiert auf der Tatsache, daß es optische Sender gibt, die von Licht einer anderen Wellenlänge  $\lambda_2$  als der vom Sender ausgesandten Wellenlänge  $\lambda_1$  ungestört durchstrahlt werden können (siehe dazu ntz31 (2) (1978), Seite 129–130). "Ungestört" bedeutet dabei, daß weder die Intensität des Lichts dieser anderen Wellenlänge  $\lambda_2$  durch eine Modulation des Senders merklich beeinflusst wird, noch die Intensität des vom Sender ausgesandten Lichts der Wellenlänge  $\lambda_1$  von dem den Sender durchstrahlenden Licht der anderen Wellenlänge  $\lambda_2$  abhängt.

Prinzipiell ist jeder optische Sender mit diesen Eigenschaften geeignet, speziell aber DFB-Laser mit einem Gitter bestimmter Ordnung  $m = 1, 2, 3, \dots$ , wobei die Periode  $\Lambda$  eines solchen Gitters der Ordnung  $m$  gegeben ist durch

$$\Lambda = m \cdot \lambda_1 / 2 \cdot n_{\text{eff}}$$

und  $n_{\text{eff}}$  die effektive Brechzahl des geführten Modus bedeutet.

Generell hat das der Anordnung von außen zugeleitete, in deren Wellenleiter eingekoppelte und den Sender durchstrahlende Licht der anderen Wellenlänge  $\lambda_2$  eine geringere Energie als das vom DFB-Laser abgestrahlte Licht, so daß keine Interbandanregung im Bereich des Lasers erfolgt. Wird außerdem die andere Wellenwirkung zwischen dem Licht der anderen Wellenlänge  $\lambda_2$  und dem Gitter stattfinden. Dieses Licht durchstrahlt dann den Laser ungestört.

Dementsprechend ist eine bevorzugte Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Anordnung so ausgebildet, wie

es im Anspruch 2 angegeben ist. Wird bei dieser Anordnung ein Gitter erster Ordnung gewählt, kann beispielsweise  $\lambda_1 = 1,3 \mu\text{m}$  und  $\lambda_2 = 1,55 \mu\text{m}$  gewählt werden.

Das Sperrfilter ist vorzugsweise eine absorbierende Schicht gemäß Anspruch 3. Diese Schicht kann entsprechend Anspruch 4 und damit im Wellenleiter angeordnet sein oder aber auch gemäß Anspruch 5 an den Wellenleiter gekoppelt sein.

Vorzugsweise besteht die absorbierende Schicht aus halbleitendem Material (Anspruch 6), insbesondere aus quaternärem Material (Anspruch 7). In diesem Fall kann vorteilhafterweise gemäß Anspruch 8 eine Diode in der halbleitenden Schicht integriert sein, die als Monitordiode für den Sender dienen kann.

Die erfindungsgemäße Anordnung, insbesondere auch die Ausführungsformen mit der im Lichtweg angeordneten absorbierenden Schicht als auch der über Leckwellen an den Wellenleiter gekoppelten absorbierenden Schicht weist folgende Vorteile auf:

- Große Toleranz für die Wellenlänge der vom Sperrfilter zu sperrenden und durchzulassenden Strahlung;
- hohe erreichbare Abschwächung, beispielsweise 40 dB;
- durch geeignete Formgebung des Filters kann Streulicht vom Detektor ferngehalten werden;
- das Filter kann als Monitordiode genutzt werden;
- kurze Baulänge, insbesondere bei der Ausführungsform mit der im Lichtweg angeordneten absorbierenden Schicht;
- Unabhängigkeit von der Polarisation beider Strahlungen, insbesondere bei der Ausführungsform mit der im Lichtweg angeordneten absorbierenden Schicht.

Die Erfindung wird anhand der Figuren in der nun folgenden Beschreibung beispielhaft näher erläutert. Von den Figuren zeigen:

Fig. 1 eine Draufsicht auf eine schematisch dargestellte erfindungsgemäße Anordnung,

Fig. 2 einen Schnitt längs der Linie A in Fig. 1 durch eine Anordnung mit einem Sperrfilter in Form einer im Lichtweg des im Wellenleiter geführten Lichts angeordneten, absorbierenden Schicht und

Fig. 3 einen gleichen Schnitt längs der Linie A in Fig. 1 durch eine Anordnung mit einem Sperrfilter in Form einer über Leckwellen an den Wellenleiter gekoppelten absorbierenden Schicht.

Bei der Anordnung nach Fig. 1 sind auf dem Substrat 1 der streifenförmige optische Wellenleiter 2, der Sender 3, der optische Detektor 4 und das Sperrfilter 5 integriert.

Der Wellenleiter 2 kann Licht längs der Linie A in beiden Richtungen R 1 und R 2 führen.

Der optische Sender 3 ist im Bereich des Wellenleiters 2 angeordnet und sendet Licht mit relativ starker Intensität und der einen Wellenlänge  $\lambda_1$  in beiden Richtungen R 1 und R 2 aus. Dieses Licht wird im Wellenleiter 2 geführt. Die relativ starke Intensität dieses Lichts ist durch die Pfeile 31 und 32 angedeutet.

Der Sender ist zudem so ausgebildet, daß Licht mit der anderen Wellenlänge  $\lambda_2$  und mit im Vergleich zur Intensität des Senderlichts schwacher Intensität, das in den Wellenleiter 2, beispielsweise von einer Faser 7 her, eingekoppelt wird und sich in der Richtung R 1 zum Sender 3 hin ausbreitet, sich durch den Sender 3 hin-

durch ausbreitet.

Beispielsweise ist der Sender 3 ein DFB-Laser mit einem Gitter erster Ordnung, der die eine Wellenlänge  $\lambda_1 = 1,3 \mu\text{m}$  abstrahlt. Durch diesen Laser geht das im Wellenleiter geführte Licht der anderen Wellenlänge  $\lambda_2 = 1,55 \mu\text{m}$  unbeeinflusst hindurch.

Die relativ schwache Intensität des in der Richtung R 1 im Wellenleiter sich ausbreitenden Lichts der anderen Wellenlänge ist durch die dünnen Pfeile 71 bis 73 angedeutet.

Der beispielsweise in Form einer Photodiode ausgebildete optische Detektor 4 ist so angeordnet, daß ihm das im Wellenleiter 2 geführte Licht der anderen Wellenlänge  $\lambda_2$  vom Sender 3 her zuleitbar ist.

Der Detektor 4 soll nur das Licht der anderen Wellenlänge  $\lambda_2$  detektieren. Es darf daher möglichst kein vom Sender 3 abgestrahltes Licht der einen Wellenlänge  $\lambda_1$  zum Detektor 4 gelangen. Deshalb ist zwischen dem Sender 3 und dem Detektor 4 das Sperrfilter 5 auf oder im Wellenleiter angeordnet, das so ausgebildet ist, daß es den Detektor 4 gegen das vom Sender 3 abgestrahlte Licht der einen Wellenlänge  $\lambda_1$  abschirmt, daß dagegen das im Wellenleiter 2 geführte Licht mit der anderen Wellenlänge  $\lambda_2$  und mit der relativ schwachen Intensität durch das Sperrfilter 5 hindurchgeht und dem Detektor 5 zugeleitet ist.

Die abschirmende Wirkung des Sperrfilters 5 muß so sein, daß die Intensität eines durch das Sperrfilter zum Detektor 4 gelangenden Anteils des vom Sender 3 abgestrahlten Lichts mit der relativ starken Intensität und der einen Wellenlänge  $\lambda_1$  im Vergleich zur Intensität des durch das Filter 5 hindurch zum Detektor 4 gelangenden Lichts mit der relativ schwachen Intensität und mit der anderen Wellenlänge  $\lambda_2$  verschwindend gering ist.

Vorzugsweise besteht das Sperrfilter 5 aus einer Schicht aus absorbierendem Material, die das Licht der einen Wellenlänge  $\lambda_1$  ausreichend absorbiert, das Licht der anderen Wellenlänge  $\lambda_2$  dagegen möglichst ungeschwächt hindurchläßt.

Die Fig. 2 und 3 zeigen zwei beispielhafte Ausführungsvarianten mit einer solchen Schicht. Bei der Variante nach Fig. 2 ist die absorbierende Schicht 51 im Wellenleiter 2 und damit im Lichtweg des in diesem Wellenleiter 2 geführten Lichts angeordnet, während bei der Variante nach Fig. 3 diese Schicht als eine wellenleitende Schicht 52 ausgebildet ist, die längsseits an den Wellenleiter 2 angrenzt und damit über Leckwellen an diesen Wellenleiter 2 gekoppelt ist.

Bei beiden beispielhaften Ausführungsvarianten besteht das Substrat 1 aus n-dotiertem InP. Auf diesem Substrat ist eine epitaktische Pufferschicht 11 aus n-dotiertem InP aufgebracht. Diese Pufferschicht 11 trägt den Sender 3 in Form des DFB-Lasers mit dem Gitter erster Ordnung und den epitaktisch auf diese Schicht 11 aufgetragenen Wellenleiter 2 aus n-dotiertem InGaAsP mit beispielsweise einer Gap-Wellenlänge von  $1,05 \mu\text{m}$ . Der Wellenleiter 2 ist mit einer epitaktischen Schicht 14 aus beispielsweise n-dotierten InP abgedeckt. Die Herstellung des DFB-Lasers und der epitaktischen Schichten 11, 2 und 14 auf gemeinsamen Substrat ist bekannt.

Bei der Ausführungsvariante nach Fig. 2 besteht das Sperrfilter 5 aus der Schicht 51 aus InGaAsP mit einer Gap-Wellenlänge von  $1,45 \mu\text{m}$ , die den Wellenleiter 2 unterbricht und beispielsweise bis zum Substrat 1 hinreichen kann. Das Material dieser Schicht 51 ist so gewählt, daß das vom Sender 3 abgestrahlte Licht der Wellenlänge  $1,3 \mu\text{m}$  absorbiert wird, das zu detektierende Licht der anderen Wellenlänge  $1,55 \mu\text{m}$  dagegen

weitgehend unbeeinflusst bleibt, (siehe dazu IEEE J. Quant. Electr., QE-16 (6), (1980) 601 – 603).

Verwendet man beispielsweise eine 10  $\mu\text{m}$  in Richtung der Linie A in Fig. 1 ausgedehnte Schicht 51 aus dem InGaAsP der Gap-Wellenlänge 1,45  $\mu\text{m}$ , so wird das vom Sender 3 abgestrahlte Licht der Wellenlänge 1,3  $\mu\text{m}$  um über 40 dB abgeschwächt. Das zu detektierende Licht der anderen Wellenlänge 1,55  $\mu\text{m}$  wird dabei um weniger als 0,5 dB gedämpft (siehe dazu Phys. stat. sol. (a), Vol. 68 (1981) 153 – 158).

In der absorbierenden Schicht 51 findet keine Wellenleitung statt. Das im Wellenleiter 2 bis zu dieser Schicht 51 geführte Licht hat beispielsweise eine Strahlbreite von 1  $\mu\text{m}$ . In der wesentlich breiteren und höheren Schicht 51 breitet sich dieses Licht frei aus. Bei der genannten Ausdehnung der Schicht 51 in Richtung der Linie A in Fig. 1 von 10  $\mu\text{m}$  findet eine Aufweitung von 1  $\mu\text{m}$  auf etwa 1,7  $\mu\text{m}$  an dem vom Sender 3 abgekehrten Ende der Schicht 51 statt. Das Licht kann daher noch gut in einem anschließenden optischen Detektor 4 in Form einer Photodiode nachgewiesen werden.

Dieser Detektor 4 besteht aus einer auf dem Wellenleiter 2 aufgetragenen Schicht 13 aus n-dotierten, ternären Material, an deren Oberfläche ein mit einer Kontaktelektrode 41 kontaktierter p-dotierter Bereich ausgebildet ist. Die andere Elektrode 64 des Detektors 4 ist auf der Unterseite des Substrats aufgebracht. Die Herstellung dieses Detektors ist bekannt.

Auch an der Oberfläche der absorbierenden Schicht 51 ist ein mit einer Kontaktelektrode 61 kontaktierter p-dotierter Bereich ausgebildet, wodurch eine Photodiode 6 gebildet ist, deren andere Kontaktelektrode ebenfalls die Elektrode 64 ist und die als Monitordiode für das vom Sender 3 abgestrahlte Licht dienen kann.

Bei der Herstellung der Ausführungsvariante nach Fig. 2 wird das Sperrfilter 5 nach dem Aufbringen aller epitaktischen Schichten für den Sender 3 und den Detektor 4 hergestellt.

Eine  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Schicht dient als Schutzschicht für die vorhandenen epitaktischen Schichten. In der  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Schicht wird an den Stellen, wo die absorbierende Schicht 51 eingelassen werden soll, d. h. etwa 100  $\mu\text{m}$  hinter dem Sender 3 und direkt vor dem Detektor 4, photolithographisch ein Fenster geöffnet, in welchem die wellenleitenden Schichten abgeätzt werden. In dem dabei entstehenden Graben wird die absorbierende Schicht 51 aus InGaAsP mit der Gap-Wellenlänge von 1,45  $\mu\text{m}$  epitaktisch aufgewachsen (siehe dazu IEEE J. Quant. Electr., QE-21 (6), (1985) 519 – 526). Auf der  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Schicht findet kein Kristallwachstum statt, so daß anschließend nach dem selektiven Abätzen der  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Schicht der Sender 3 und der Detektor 4 metallisiert und kontaktiert werden können.

Bei der Ausführungsvariante nach Fig. 3 besteht das Sperrfilter 5 aus der auf dem Wellenleiter 2 aufgetragenen absorbierenden Schicht 52, die wie die Schicht 13 des Detektors 4 der Ausführungsvariante nach Fig. 2 über Leckwellen an den Wellenleiter 2 gekoppelt ist. Die Schicht 52 besteht aus InGaAsP mit einer Gap-Wellenlänge von 1,45  $\mu\text{m}$  und ist in Richtung der Linie A in Fig. 1 weiter ausgedehnt als die Schicht 51 der Ausführungsvariante nach Fig. 2. Bei einer Ausdehnung der Schicht 52 von 300  $\mu\text{m}$  in dieser Richtung wird das vom Sender 3 abgestrahlte Licht der Wellenlänge 1,3  $\mu\text{m}$  um etwa 20 dB abgeschwächt (siehe dazu Electr. Lett. 23 (1), (1987) 2 – 4). Eine stärkere Nebensprechdämpfung läßt sich mit einer in Richtung der Linie A in Fig. 1 entsprechend weiter ausgedehnten Schicht 52 erreichen, bei-

spielsweise in die Abschwächung von 40 dB bei einer Ausdehnung von 600  $\mu\text{m}$  in dieser Richtung.

Für das zu detektierende Licht der anderen Wellenlänge 1,55  $\mu\text{m}$  wirkt die Schicht 52 als Wellenleiter. Dieses Licht bleibt in seiner Intensität weitgehend unbeeinflusst.

An dem vom Sender 3 abgekehrten Ende der absorbierenden Schicht 52 ist der Detektor 4 auf dieser Schicht 52 aufgebracht, der wie bei der Ausführungsvariante nach Fig. 2 ausgebildet sein kann.

Auch ist an dem anderen Ende der Schicht 52, das dem Sender 3 zugekehrt ist, eine Diode 6 in dieser Schicht 52 ausgebildet, die wie bei der Ausführungsvariante nach Fig. 2 ausgebildet sein und als Monitordiode für das vom Sender 3 abgestrahlte Licht dienen kann.

Durch die absorbierende Schicht 52 ergibt sich eine Abschirmung des Detektors 4 gegen Streulicht aus dem Sender 3 und damit eine Steigerung der Nebensprechdämpfung.

Die Herstellung der Ausführungsvariante nach Fig. 3 kann folgendermaßen geschehen: Als erstes wird der Sender 3 mit angekoppeltem, überwachsenem Wellenleiter 2 fertiggestellt. Dieser Prozeß ist bekannt. Die zu schützenden Strukturen werden mit einer  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Schicht bedeckt. Dann wird dort, wo das Sperrfilter 5 und der Detektor 4 entstehen sollen, die Schicht 14 aus InP, mit der der Wellenleiter 2 überwachsen ist, selektiv abgeätzt. In einem einzigen Epitaxieschritt werden dann die Schicht 52 für das Sperrfilter 5 und die Schicht 13 für den Detektor 4 aufgewachsen. In anschließenden Strukturierungsschritten wird die in Fig. 3 erkennbare Form erzeugt. Zur Herstellung der p-dotierten Bereiche 62 und 132 wird dann lokal dotiert, beispielsweise durch Diffusion. Nach Entfernen der die Laserdiode schützenden  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Schicht können die Kontaktelektroden für alle Bauelemente aufgebracht werden.

- Leerseite -

Nummer:

37 30 971

Int. Cl. 4:

G 01 D 5/26

Anmeldetag:

15. September 1987

Offenlegungstag:

23. März 1989

3730971

1/1

NACHGEREICHT

FIG 1

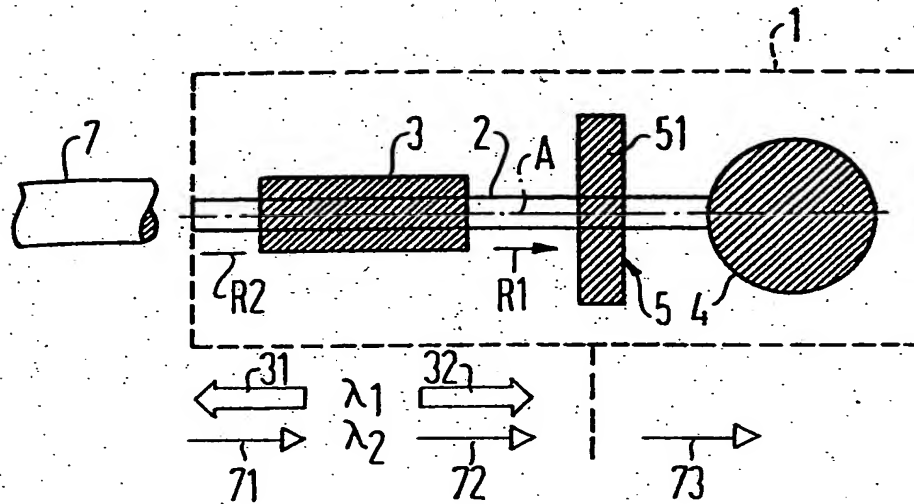


FIG 2

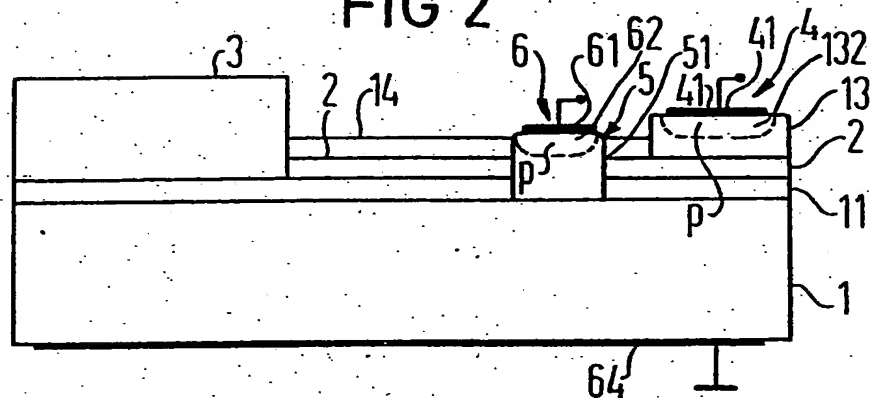


FIG 3

